

УДК 629.7.01

DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.141>

В. М. Кривонос, О. О. Клімшен, О. В. Цемма, Р. В. Василенко

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УСУНЕННЯ ЛЬОДОУТВОРЕННЯ НА ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТОЛЬОТУ

Предметом дослідження в статті є підходи щодо вдосконалення системи захисту елементів конструкції військово-транспортного вертольоту від льодоутворення. **Мета** роботи – розробка пропозицій стосовно вдосконалення найбільш енергоємної системи зі складу авіаційного обладнання військово-транспортного вертольоту, а саме протизледенільної системи на підставі аналізу як можливо більшого числа її компонентів. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз сучасних систем боротьби з обледенінням (насамперед тих, що використовуються в промислових установках, та на закордонних вертольотах), розробка дублюючої системи обігріву скла кабіни екіпажу, розробка безконтактного способу передачі електроенергії на нагрівальні елементи лопатей гвинтів, розробка структурної схеми автоматичного управління протизледенільною системою. Використовуються такі **методи**: порівняльний аналіз, методи прикладної гідродинаміки та електромеханіки. Отримано наступні **результати**: сформульовані специфічні вимоги до вертолїтних систем захисту від льоду, запропонована рідинна система омивання скла кабіни екіпажу у якості дублюючої системи для електрообігріву, запропонована схема системи управління 6-ті секційною протизледенільною системою за допомогою комбінованого сигналізатора льодоутворення. **Висновки**: впровадження повністю автоматичної системи усунення льоду у складі авіаційного обладнання вертольоту, яка значно розвантажить екіпаж, обов'язково передбачає використання у своєму складі комплексного датчику (групи вимірювачів). Це дасть можливість системі реагувати не тільки на появу певного шару льоду на чутливій поверхні, а ще й на параметри навколишнього середовища, при яких можливо виникнення такого небезпечного явища як обледеніння елементів конструкції вертольоту. Модернізація системи боротьби з льодоутворенням на елементах конструкції вертольоту буде ефективною лише при комплексному підході до вдосконалення усіх її складових частин разом з розробкою дублюючих систем усунення льоду.

Ключові слова: протизледенільна система; льодоутворення; зледеніння; лопаті гвинтів; безконтактна передача; безпека польотів; резервування; рідина; скло кабіни; комплексний датчик.

Вступ

Кожен політ повітряного судна можна розглядати з точки зору забезпечення його безпеки під час виконання польотного завдання. Безпека польоту забезпечується, якщо при відмові якої-небудь системи вертольоту може бути здійснена посадка хоча б на найближчому аеродромі. Виконання польотного завдання може бути гарантовано тільки у випадку, якщо всі життєво важливі системи будуть діяти на протязі польоту безвідмовно.

Вирішення питань безпеки польотів тісно зв'язано з вирішенням задачі захисту літального апарату від обледеніння, тому що воно призводить до вагомого погіршення його аеродинамічних характеристик, погіршенню стійкості та керованості. Крім того, обледеніння може викликати відмови ряду найважливіших агрегатів та приладів і, на сам кінець, що найбільш небезпечно, порушити роботу двигунів.

Обледеніння скла кабіни пілотів призводить до погіршення огляду закабінного простору.

Утворення льоду на лопатях гвинтів вертольоту призводить до суттєвого погіршення керованості, що значно відчувається членами екіпажу та пасажирями.

За статистикою метеоспостережень на території України 80 % загального часу у зимово-осінній період спостерігається температура навколишнього середовища нижче 00 С, при якій утворюється спочатку волога, а потім при подальшому зниженні температури – льод на металевих поверхнях повітряних суден.

За даними EASA за останні 10 років обледеніння виявилось причиною 80 авіаційних подій у світі із загибеллю 263 чоловік [1].

Все це обумовлює необхідність розробки та встановлення на борту сучасних вертольотів систем захисту від льодоутворення, а також досліджень шляхів поліпшення характеристик існуючих систем захисту від льодоутворення (рис. 1), порівняння різноманітних технічних рішень та підходів стосовно побудови систем боротьби з обледенінням елементів конструкції вертольоту.



Рис. 1. Чінок армії США моделює хмару зледеніння для перевірки ефективності функціонування системи захисту від льоду гелікоптера AW139 Agusta [2]

Крім того, характерною рисою сучасної авіаційної техніки виступає взаємозв'язок разом з взаємозалежністю різноманітних систем вертольоту.

Протизледенільні системи представляють собою складний комплекс елементів, поєднання яких утворює підсистеми, що входять, в свою чергу, у підсистеми більшої складності. Зазначене призводить до необхідності розгляду проблеми надійності повітряного судна не тільки з точки зору змін її з часом експлуатації, а ще й з врахуванням впливу відмов на виникнення аварійної ситуації та на безпосередню безпеку польотів.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Протизледенільні системи, які встановлені на вітчизняних повітряних суднах військового призначення, були розроблені 35-45 років тому. Зроблений аналіз сучасних систем боротьби з обледенінням (насамперед тих, що використовуються в промислових установках, та на закордонних вертольотах) показує, що у рамках загальної модернізації військових повітряних суден необхідна глибока модернізація протизледенільних систем, а особливо їх датчиків [3].

У роботі [4] описується система захисту від льодоутворення сучасного гелікоптера, який планується залучити для виконання завдань поліції у повітрі над великим містом. Вказана система працює повністю у автоматичному режимі.

У роботі [5] визначені недоліки існуючої протизледенільної системи вертольоту Ми-8, серед яких автор виділяє відсутність дублювання каналів, відсутність контролю технічного стану складових частин зазначеної системи у польоті.

Оцінка можливостей експлуатації повітряних суден здебільшого літаків в умовах обледеніння, згідно окремих сертифікаційних вимог, була зроблена у роботах [6, 7, 9, 10], також описані способи видалення крижаних відкладень з несучих поверхонь літаків. У роботах [11, 12] зроблено аналіз змін аеродинамічних характеристик повітряних суден внаслідок впливу обледеніння та пропонуються програмні комплекси для розрахунку форм крижаних відкладень у випадку двомірних [14, 15] та тримірних моделей [16].

Авторами роботи [8] проведено ретельний огляд датчиків-сигналізаторів зледеніння, визначені недоліки та переваги різноманітних технічних рішень.

У праці [13] розглянуто питання впливу в'язкості на виникнення в тупиковій області температури гальмування вище температури гальмування набігаючого потоку газу, так званого ефекту Гартмана-Шпренгера, обґрунтовується можливість розробки системи захисту від льодоутворення літального апарату, що будується на вказаному ефекті.

Аналіз вказаних праць свідчить про те, що у світі значна увага приділяється вирішенню питань забезпечення безпеки польотів у складних погодних умовах, а саме при обледенінні, продовжуються пошуки нових підходів до створення та вдосконалення

протизледенільних систем літальних апаратів. Але більшість праць із наведених присвячена системам захисту від льодоутворення літаків цивільної авіації. Якщо розглядаються вертольоти, то це переважно закордонні зразки. Більшість авторів пропонують різноманітні схеми сигналізаторів льодоутворення, визначають, що дуже важливим є визначення моменту початку льодоутворення, тобто підкреслюють окрему рису зазначених сигналізаторів – чутливість. Це безперечно є дуже важливим, але протизледенільні системи вітчизняних вертольотів повинні вдосконалюватися комплексно. Вони є складними енергоємними системами ефективність роботи яких залежить як від надійності сигналізаторів обледеніння так й від роботи системи керування каналами обігріву елементів конструкції вертольоту. Будь яка складна технічна система повинна забезпечуватися дублюванням своїх каналів.

Стосовно вертольоту Ми-8 якщо розглядати захист від льоду вхідних трактив двигунів, то там використовується як електричний обігрів так й обдув гарячим повітрям, що відбирається від компресора двигуна. Але частини протизледенільної системи, що відповідають за захист від утворення льоду лопатей несучого та рульового гвинтів та скла кабіни екіпажу не мають дублюючих систем.

По-перше, необхідно було визначити специфічні вимоги до протизледенільних систем:

- незалежність дії від зміни параметрів атмосферного повітря, особливо при температурі поверхні, що захищається 268-273 К (-5°C - 0°C) і відносної вологості 85-100%, при яких спостерігається максимальна можливість зледеніння;
- мінімум споживаної енергії;
- швидка готовність до дії і по можливості автоматичне вмикання і відключення від спеціальних сигналізаторів початку і кінця зледеніння.

По-друге, вибрати сучасні датчики які використовують різні фізичні принципи дії, такі як тепловірні сигналізатори (вимірювання ентальпії), вібраційні сигналізатори, оптичні (оптоелектронні) сигналізатори, акустичні та конденсаторні сигналізатори.

По-третє розробити структурні та принципові схеми перспективних систем [3,5].

Таким чином, **мета** статті полягає у розробці пропозицій стосовно вдосконалення найбільш енергоємної системи зі складу авіаційного обладнання військово-транспортного вертольоту, а саме протизледенільної системи на підставі аналізу як можливо більшого числа її компонентів.

Виклад основного матеріалу

У відповідності з вимогами керівних документів щодо забезпечення безпеки польотів [11, 12, 15, 16] закордонні гелікоптери обладнуються відповідними системами захисту від льодоутворення на елементах конструкції, які обов'язково передбачають дублювання усіх каналів зазначених систем та мають у своєму складі модулі, які можуть зніматися.

Наприклад, знімні генератори, які працюють тільки для живлення електронагрівальних елементів різних типів та потреба у наявності яких на борту під час нормальних погодних умов (влітку) зникає, а також електронні блоки з програмними механізмами керування та підсилювачі сигналів.

Розробки дублюючих систем захисту від льодоутворення суттєво підвищують рівень безпеки польоту у складних метеорологічних умовах й для вертольоту типу Ми-8.

Якщо розглянути електрообігрів скла кабіни екіпажу, то слід зазначити, що для запобігання утворенню льоду на склінні кабіни необхідно, щоб на кожному квадратному сантиметрі поверхні виділялося не менше 0,76 Дж/с енергії або потужність, що підводиться до скла становила приблизно 0,65 Вт/см. Джерелами тепла в стеклах кабіни служать нагрівальні елементи з поверхневими або дротяними опорами.

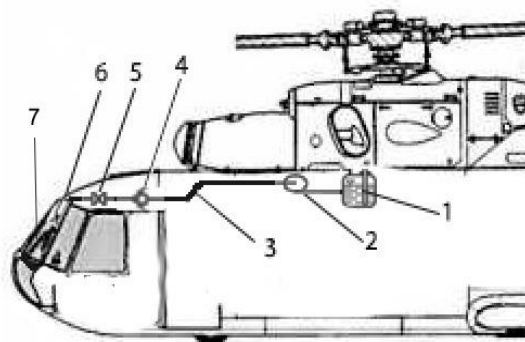
Під час тривалої експлуатації системи обігріву лобового скла льотчика на вертольоті Ми-8 спостерігалось наступне негативне явище: під час виходу з ладу нагрівального елемента обігріву, відбувалося руйнування скла, що приводило до погіршення як огляду льотчика так і характеристики міцності скла, що могло привести до його повного руйнування в польоті (рис. 2).



Рис. 2. Розтріскування скла льотчика – наслідок виходу з ладу нагрівального елемента

Крім того, оскільки жодна з складових частин протизледенільної системи вертольоту Ми-8МТ не дублюється [5], то пропонується встановити рідинну систему омиву скла кабіни екіпажу як дублювання електричної частини системи захисту від льоду стекол кабіни екіпажу. Зазначена система додатково знадобиться у разі застосування окулярів нічного бачення типу PNL-3 "Bielik" від компанії PCO SA (рис. 3).

Таким чином, захист від льоду скла кабіни екіпажу буде здійснюватися як за допомогою електрообігріву так й за допомогою рідинної системи омиву скла. Звісно це потребує встановлення додаткового обладнання (баку з рідиною та насосу) на стелі вантажної кабіни, а також трубопроводу, гумових шлангів, клапанів та крану. Рідина буде потрапляти на скло зверху через розприскувач на склоочищувач.



1 – бак з рідиною, яка має протизледенільні властивості; 2 – насос підкачки; 3 – трубопровід; 4 – зворотній клапан; 5 – кран перемикання; 6 – розприскувач протизледенільної рідини; 7 – склоочищувач.

Рис. 3. Система омивання стекол кабіни екіпажу

Також можливо встановлення заслонки з електричним приводом, яка буде спрацьовувати для подачі рідини на розприскувач за сигналом від датчика обледеніння у автоматичному режимі разом з вмиканням у роботу насосу. При цьому зберігається можливість ручного вмикання в роботу вказаної протизледенільної системи скла кабіни льотчиків, якщо фактор запотівання чи обледеніння скла буде визначено візуально.

Об'єм баку з протильодотвірною рідиною буде складати 15 літрів.

На даний час існує значна кількість рідин, які мають протизледенільні властивості, від звичайного етилового спирту до пропіленгліколю або спеціальних сумішей. Вартість таких рідин також значно варіюється – від 3 грн за літр до 300 грн за літр (рідина фірми Killfrost).

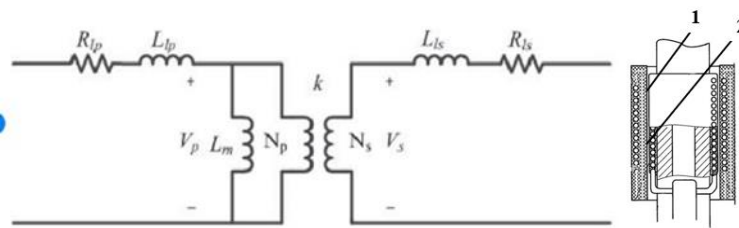
Для усунення утворення льоду на лопатях несучого та рульового гвинтів також застосовується електричний спосіб обігріву, слабким елементом якого виступає щітково-колекторний вузол струмознімача, через який подається напруга на секції нагрівальних елементів лопатей гвинтів. До струмознімача підводиться трифазна напруга змінного струму 208 В від бортових генераторів. Потужність, що витрачається на обігрів складає близько 60 кВт. Це створює велике теплове навантаження на щітково – колекторний вузол. Нагрів та тертя в свою чергу призводять до зносу кілець та щіток цього вузлу. Зазначений вузол відноситься до елементів конструкції електричної машини, що швидко зношується та який вимагає систематичного контролю і регулювання. Поряд з механічними факторами зносу особливу роль в процесі їх роботи грає тип і величина струмового навантаження. В процесі роботи вузлу під навантаженням проявляється явище електричного зносу, яке полягає в перенесенні матеріалу одного елемента на інший, іскрінні, дугоутворенні, що значно погіршує якість поверхні, збільшуючи швидкість механічного зношування. Тому в процесі експлуатації необхідно контролювати стан щіток та кілець та

своєчасно замінювати. Нестабільність розподілу струму по паралельно працюючим щіткам пояснюється нерівномірним значенням перехідного опору щітка-колектор, що вимагає частого періодичного контролю з боку обслуговуючого персоналу з використанням дорогих систем контролю та діагностики. При чому зазначений вид контролю з використанням вказаних систем здійснюється лише на землі. Окрім цього, заміна зношених деталей зазначеного вузлу є складним видом ремонту.

Для підвищення надійності роботи струмознімача, пропонується застосовувати замість щітково-колекторного вузлу безконтактний

трансформатор з магнітним полем, що обертається [17]. Такий трансформатор містить у собі ротор та статор. У пазах статора розміщується трифазна обмотка, до якої подається напруга від бортового джерела змінного струму. На роторі, що обертається разом з втулкою гвинта, розміщується обмотка з якої знімається електрична енергія для живлення нагрівальних елементів лопатей.

Таким чином, використання такого пристрою дозволить забезпечити безконтактну передачу електроенергії значної потужності для обігріву лопатей вертольоту (рис. 4).



1 – обмотка з якої знімається електроенергія, 2 – обмотка до якої підводиться напруга змінного струму

Рис. 4. Принцип безконтактної передачі електроенергії на нагрівальні елементи лопатей

Для керування 6-ті секційною протизледенільною системою вертольота пропонується побудувати наступну схему або автомат керування на основі комбінованого вимірювача льодоутворення (вібраційного датчика та терморезистору) (рис. 5).

На даний час на вертольотах Ми-8 поступово здійснюється заміна радіоізотопних датчиків-сигналізаторів РІО-3 на вібраційні датчики СО-121. Незважаючи на те, що статистика відмов радіоізотопних датчиків незначна, вибір вібраційних датчиків-сигналізаторів обумовлений як вимогами

екологічної безпеки, так й тим що вібраційні датчики вказаного типу мають незначні габаритні розміри, але достатньо вібростійкі, що дозволяє встановлювати їх у місцях наближених до двигунів, тобто у повітрозбірниках. Крім того, перевагами таких датчиків є те, що вони виключають помилкове спрацьовування при впливі дощу, снігу чи вітру. На їх роботу не впливає маневрування літального апарату, тобто різкі зміни висотно-швидкісних параметрів польоту. Випробування показали що вібраційні датчики зберігають працездатність при різноманітних типах обледеніння.

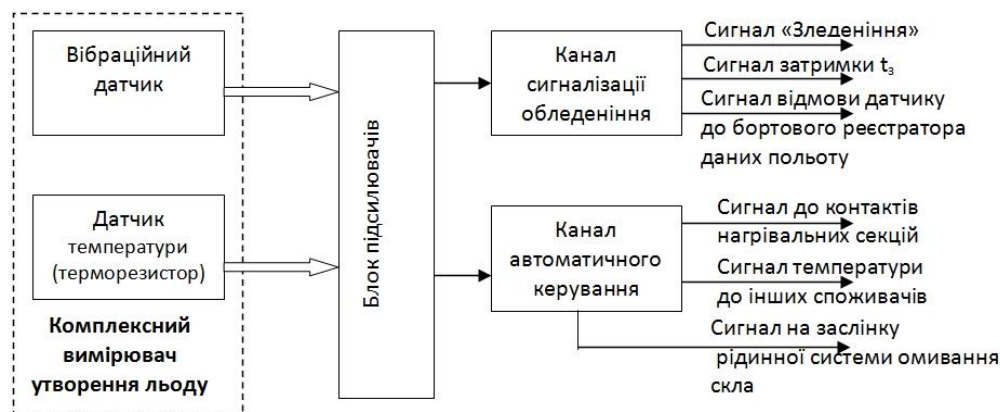


Рис. 5. Схема управління 6-ті секційною системою вертольота за допомогою комбінованого сигналізатора (вібраційний датчик та терморезистор)

Принцип дії комплексного вимірювача заснований на зміні частоти власних коливань чутливого елемента датчика - мембрани, при появі на ній льоду (частота коливань мембрани є функцією її жорсткості) разом зі зміною електричного опору термочутливого елемента від температури зовнішнього повітря з подальшим перетворенням цієї

зміни, підсиленням та видачею на програмний механізм керування типу ПМК-21.

Канал сигналізації обледеніння призначений для перетворення сигналів, що прямують з датчика та видачі сигналу "Зледеніння" при нарощенні товщини шару льоду на поверхні датчика відповідно пороговому значенню $0,4 \pm 0,1$ мм, затримці сигналу

"Зледеніння" на час 115 с після усунення льоду з датчика, а також сигналізації щодо відмови датчика.

Канал автоматичного керування вмиканням у роботу системи призначений для перетворення температури зовнішнього повітря (зміни опору терморезистору) у часові інтервали у залежності від температури та сигналізації членам екіпажу стосовно зниження температури менш ніж та, при якій не забезпечується ефективна робота системи усунення льоду з лопатей гвинтів вертольоту.

Цей канал також забезпечує видачу сигналів на вмикання у роботу нагрівальних секцій лопатей несучого та рульового гвинтів вертольоту.

Затримка сигналу t_3 на виключення обігріву датчика потрібна для забезпечення повного усунення льоду з чутливої поверхні. Затримка сигналу "Зледеніння" необхідна для забезпечення його безперервності при циклічній роботі у зоні обледеніння.

Висновки

Таким чином опираючись на досвід впровадження нових систем боротьби з льодоутворенням на гелікоптерах країн НАТО запропоновані шляхи вдосконалення системи

усунення льоду на елементах конструкції вітчизняного військово-транспортного вертольоту. Зазначено, що модернізація існуючих систем усунення льоду буде ефективною лише у разі комплексного підходу щодо розгляду всіх складових протизледенільної системи. Виявлено, що на відміну від вертольотів країн НАТО на вертольоті Ми-8МТ не можливо зробити з'ємною частину протизледенільного обладнання, особливо джерел її живлення (генераторів), але це питання може бути актуальним при розгляді перспективних систем захисту від льодоутворення на інших типах вітчизняних вертольотів.

На підставі розгляду низки технічних рішень, що пропонуються, можна зробити висновок, що впровадження повністю автоматичної системи усунення льоду у складі авіаційного обладнання вертольоту, яка значно розвантажить екіпаж, обов'язково передбачає використання у своєму складі комплексного датчику (групи вимірювачів). Це дасть можливість системі реагувати не тільки на появу створення певного шару льоду на чутливій поверхні, а ще й на параметри навколишнього середовища, при яких можливо виникнення такого небезпечного явища як обледеніння елементів конструкції вертольоту.

Список літератури

1. Icing Research Struggling with Physics, URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/aviation-international-news/2013-12-04/icing-research-struggling-physics> (дата звернення 27.04.2020).
2. Full Anti-icing Gear Coming Soon on AW189, URL: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2015-10-17/full-anti-icing-gear-coming-soon-aw189> (дата звернення 11.04.2020).
3. Вітенко С. В., Зорин Я. О., Овчарук А. В. Можливості модернізації протизледенільних систем літальних апаратів. Новітні технології – для захисту повітряного простору: зб. тез доповідей Восьмої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12–13 квітня 2012 р. Харків, 2012. С. 92.
4. Robert W. Moorman. Different Course, Same Destination. Curtiss-Wright maintains its strong link with fixed- and rotary-wing aircraft through organic growth and key acquisition. VERTIFLITE. March/April 2016. Vol. 62, № 2. P. 18–21.
5. Громов В. С. Противообледенительная система вертолета. *Academy*. 2016. № 6 (9). С. 32–34.
6. Приходько А. А., Алексеенко С. В. Экспериментальное исследование и математическое моделирование физических процессов при обледенении аэродинамических поверхностей. XV Минский международный форум по тепло- и массообмену. 23-26 мая 2016 г. Минск, 2016. Т. 1.: тезисы докладов и сообщений. С. 386–389.
7. Ципенко В. Г., Шевяков В. И. Обеспечение безопасности полета транспортных воздушных судов с учетом новых сертификационных требований к условиям обледенения. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2017. Т. 22, № 03. С. 45–56. DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2019-22-3-45-56>.
8. Вавилов В. Д., Суконкин А. Н. Обзор отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения. *Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева*. 2013. № 4 (101). С. 297–310.
9. Шевяков В. И. Решение новых задач аэродинамики в процессе сертификации самолетов транспортной категории - противообледенительная система. *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2014. № 199. С. 74–82.
10. Долотовский А. В., Терехин В. А., Шевяков В. И., Чочиев В. А. Задачи аэродинамики при сертификации самолета SSJ-100 для условий обледенения. Материалы XXIII Научно-технической конференции по аэродинамике. 01-02 марта 2012 г. п. Володарского, 2012. С. 95.
11. Tran P., Brahimi M. T., Paraschivoiu I., Pueyo A., Tezok F. Ice accretion on aircraft wings with thermodynamic effects. 32nd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, AIAA-1994-0605. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1994. P. 9.
12. Mingione G., Brandi V. Ice accretion prediction on multielement airfoils. *Journal of Aircraft*. 1998. Vol. 35, № 2. P. 240–246.
13. Кузнецов В. И., Шандер А. Ю. Эффект Гартмана-Шпренгера и его применение на летательных аппаратах. *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2019. Т. 3, №2. С.150–155.
14. Alekseenko S.V., Prikhod'ko A.A. Mathematical modeling of ice body formation on the wing airfoil surface. *Fluid Dynamics*. 2014. Vol. 49, № 6. P. 715–732.
15. Cao Y., Huang J., Yin J. Numerical simulation of three-dimensional ice accretion on an aircraft wing. *Intern. Journal of heat and mass transfer*. 2016. Vol. 92. P. 34–54.
16. Zhu C., Fu B., Sun Z. 3D ice accretion simulation for complex configuration basing on improved messinger model. *Intern. Journal of modern physics: inference series*. 2012. Vol. 19. P. 341–350.
17. Contact-less Transfer of Energy by means of a Rotating Transformer. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Contact-less-Transfer-of-Energy-by-means-of-a-Papastergiou-Macpherson/935b70f2e223b2229187422843ae0efb0116f033>.

References

1. Icing Research Struggling with Physics, available at : <https://www.ainonline.com/aviation-news/aviation-international-news/2013-12-04/icing-research-struggling-physics> (last accessed 27 April 2020).
2. Full Anti-icing Gear Coming Soon on AW189, available at : <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2015-10-17/full-anti-icing-gear-coming-soon-aw189> (last accessed 11 April 2020).
3. Vitenko, S. V., Zorin, Y. O., Ovcharuk, A. V. (2012), "Possibilities of modernization anti-icing systems of aircraft" ["Mozhlyvosti modernizatsiyi protyzedenil'nykh system lital'nykh aparativ"], *8th Scientific Conference of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University: New technologies – for air space protection, April 12-13, 2012*, Kharkiv, P. 92.
4. Moorman, R. W. (2016), "Different Course, Same Destination. Curtiss-Wright maintains its strong link with fixed- and rotary-wing aircraft through organic growth and key acquisition", *The Vertical Flight Society VERTIFLITE*, Vol. 62, No. 2, P. 18–21.
5. Gromov, V. S. (2016), "Helicopter anti-icing system" ["Protivoobledenitel'naya sistema vertoleta"], *Publishing Center "Academy"*, Vol. 6 (9), P. 32–34.
6. Prikhod'ko, A. A. (2016), "Experimental research and mathematical modeling of physical processes during icing of aerodynamic surfaces" ["Eksperimental'noye issledovaniye i matematicheskoye modelirovaniye fizicheskikh protsessov pri obledeneni aerodinamicheskikh poverkhnostey"], *XV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer, May 23-26, Minsk*, Vol. 1, P. 386–389.
7. Tsipenko, V. G. (2017), "Ensuring flight safety of transport aircraft, taking into account new certification requirements for icing conditions" ["Obespecheniye bezopasnosti poleta transportnykh vozdushnykh sudov s uchetom novykh sertifikatsionnykh trebovaniy k usloviyam obledeneniya"], *Scientific Bulletin of MSTU CA*, Vol. 22, No. 03, P. 45–56. DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2019-22-3-45-56>.
8. Vavilov, V. D. (2013), "Review of domestic and foreign icing indicators" ["Obzor otechestvennykh i zarubezhnykh signalizatorov obledeneniya"], *Transactions of NSTU named after R.E. Alekseeva*, No. 4 (101), P. 297–310.
9. Shevyakov, V. I. (2014), "The solution of new problems of aerodynamics in the process of certification of transport category aircraft - an anti-icing system" ["Resheniye novykh zadach aerodinamiki v protsesse sertifikatsii samoletov transportnoy kategorii - protivobledenitel'naya sistema"], *Scientific Herald of the MSTU CA*, No. 199, P. 74–82.
10. Dolotovskiy, A. V. (2012), "The problems of aerodynamics during certification of the SSJ-100 aircraft for icing conditions" ["Zadachi aerodinamiki pri sertifikatsii samoleta SSJ-100 dlya usloviy obledeneniya"], *Materials of the XXIII Scientific and Technical Conference on Aerodynamics, March 01-02*, P. 95.
11. Tran, P. (1994), "Ice accretion on aircraft wings with thermodynamic effects", *32nd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, American Institute of Aeronautics and Astronautics*, P. 9.
12. Mingione, G., Brandi V. (1998), "Ice accretion prediction on multielement airfoils", *Journal of Aircraft*, Vol. 35, No. 2, P. 240–246.
13. Kuznetsov, V. I., Shander, A. Y. (2019), "The Hartmann-Sprenger effect and its use on aircraft" ["Effekt Gartmana-Shprengera i yego primeneniye na letatel'nykh aparatakh"], *Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatcionno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye*, Vol. 3, No. 2, P. 150–155.
14. Alekseenko, S. V., Prikhod'ko A. A. (2014), "Mathematical modeling of ice body formation on the wing airfoil surface", *Fluid Dynamics*, Vol. 49, No. 6, P. 715–732.
15. Cao, Y., Huang, J., Yin, J. (2016), "Numerical simulation of three-dimensional ice accretion on an aircraft wing", *Intern. Journal of heat and mass transfer*, Vol. 92, P. 34–54.
16. Zhu, C., Fu, B., Sun, Z. (2012), "3D ice accretion simulation for complex configuration basing on improved messenger model", *Intern. Journal of modern physics: inference series*, Vol. 19, P. 341–350.
17. Contact-less Transfer of Energy by means of a Rotating Transformer, available at : <https://www.semanticscholar.org/paper/Contact-less-Transfer-of-Energy-by-means-of-a-Papastergiou-Macpherson/935b70f2e223b2229187422843ae0efb0116f033> (last accessed 30 March 2020).

Надійшла (Received) 17.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кривонос Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, заступник начальника кафедри № 203, Харків, Україна; email: kvn35@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6511-6640>.

Кривонос Владимир Николаевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, заместитель начальника кафедры № 203, Харьков, Украина.

Krivosov Volodimir – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Deputy Head of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

Клімишен Олексій Олегович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: kl_s_kh@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3859-1531>.

Климишен Алексей Олегович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, старший преподаватель кафедры № 203, Харьков, Украина.

Klimishen Oleksiy – PhD (Engineering Sciences), Senior Research, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

Цемма Олександр Володимирович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: temma@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6287-8404>.

Цемма Александр Владимирович – Харьковський національний університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, старший преподаватель кафедри № 203, Харьков, Україна.

Tsemma Oleksandr – Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

Василенко Роман Вікторович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри № 203, Харків, Україна; email: spike75.tv@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7683-7526>.

Василенко Роман Вікторович – Харьковський національний університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, старший преподаватель кафедри № 203, Харьков, Україна.

Vasilenko Roman – Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Senior Lecturer of the Department No. 203, Kharkiv, Ukraine.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УСТРАНЕНИЯ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТОЛЕТА

Предметом исследования в статье являются подходы по совершенствованию системы защиты элементов конструкции военно-транспортного вертолета от образования льда. **Цель** работы – разработка предложений по совершенствованию наиболее энергоемкой системы из состава авиационного оборудования военно-транспортного вертолета, а именно противообледенительной системы на основе анализа как возможно большего числа ее компонентов. В статье решаются следующие **задачи**: анализ современных систем борьбы с обледенением (прежде всего тех, что используются в промышленных установках, и на зарубежных вертолетах), разработка дублирующей системы обогрева стекла кабины экипажа, разработка бесконтактного способа передачи электроэнергии на нагревательные элементы лопастей винтов, разработка структурной схемы автоматического управления противообледенительной системой. Используются следующие методы: сравнительный анализ, методы прикладной гидродинамики и электромеханики. Получены следующие **результаты**: сформулированы специфические требования к вертолетным системам защиты от льда, предложена жидкостная система омывки стекол кабины экипажа в качестве дублирующей системы для электрообогрева, предложенная схема системы управления 6-ти секционной противообледенительной системой с помощью комбинированного сигнализатора лёдообразования. **Выводы**: внедрение полностью автоматической системы устранения льда в составе авиационного оборудования вертолета, которая значительно разгрузит экипаж, обязательно предполагает использование в своем составе комплексного датчика (группы измерителей). Это позволит системе реагировать не только на появление определенного слоя льда на чувствительной поверхности, но и на параметры окружающей среды, при которых возможно возникновение такого опасного явления как обледенение элементов конструкции вертолета. Модернизация системы борьбы с образованием льда на элементах конструкции вертолета будет эффективной только при комплексном подходе к совершенствованию всех её составных частей вместе с разработкой дублирующих систем устранения льда.

Ключевые слова: противообледенительная система; возникновение льда; обледенение; лопасти винтов; бесконтактная передача; безопасность полетов; резервирование; жидкость; стекло кабины; комплексный датчик.

IMPROVEMENT OF ICE REMOVAL SYSTEMS ON HELICOPTER CONSTRUCTION ELEMENTS

The **subject** of study in the article is approaches to improving the system of protection of structural elements of a military transport helicopter from ice formation. The **goal** of the work is to develop proposals for improving the most energy-intensive system of the aviation equipment of a military transport helicopter, namely, an anti-icing system based on an analysis of as many of its components as possible. The following **tasks** are solved in the article: analysis of modern anti-icing systems (primarily those used in industrial plants and foreign helicopters), development of a backup system for heating the cockpit glass, development of a non-contact method of transferring electricity to the heating elements of the propeller blades, development of block diagram automatic control of the anti-icing system. The following **methods** are used: comparative analysis, methods of applied hydrodynamics and electromechanics. The following **results** were obtained: specific requirements for helicopter ice protection systems were formulated, a liquid cockpit glass washing system was proposed as a backup system for electric heating, a control system scheme for a 6-section anti-icing system using a combined ice formation warning device was introduced. **Conclusions**: the introduction of a fully automatic ice removal system as a part of the helicopter's aviation equipment, which significantly relieves the crew, necessarily involves the use of an integrated sensor (group of meters). This will allow the system to respond not only to the appearance of a certain layer of ice on a sensitive surface, but also to environmental parameters at which such a dangerous phenomenon as icing of helicopter structural elements may occur. Modernization of the anti-ice formation system on the elements of the helicopter structure will be effective only with a comprehensive approach to the improvement of all its components together with the development of duplicate ice removal systems.

Keywords: anti-icing system; ice formation; icing; propeller blades; contactless transmission; flight safety; redundancy; liquid; cockpit glass; integrated sensor.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Кривонос В. М., Клімішен О. О., Цемма О. В., Василенко Р. В. Вдосконалення систем усунення льодоутворення на елементах конструкції вертольоту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 141–147. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.141>.

Krivosnos, V., Klimishen, O., Tsemma, O., Vasilenko, R. (2020), "Improvement of ice removal systems on helicopter construction elements", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 141–147. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.141>.